JAXA's

［ジャクサス］ *March 2014*

宇宙航空研究開発機構機関誌

No.055

特集

ISSコマンダー就任 4度目の宇宙で 和のリーダーシップ

"頼れる"「きぼう」と 若田宇宙飛行士

車の自動運転から米作りまで
「みちびき」のある暮らしを目指して

大気を見つめ、惑星のなりたちに迫る「ひさき」

未知の天体からのX線をISSで待ち受け中
「MAXI」がもたらすサイエンス

レーザー光で捉え、機体の揺れを抑える
「乱気流事故防止機体技術」

JAXA's No.055
宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙画像：ISSのキューポラにて。若田宇宙飛行士の左下に、接近するシグナス補給船が小さく写っている
JAXA/NASA

INTRODUCTION

若田光一宇宙飛行士の国際宇宙ステーション（ISS）長期滞在も後半戦に入りました。2013年11月の長期滞在開始から多くの宇宙実験に取り組み、ロボットアーム操作で船外活動を支えるなど、充実した日々を送っています。この3月には日本人初のISSのコマンダー（船長）に就任しました。現在までの活動について、写真を交えて詳しくご紹介します。若田宇宙飛行士がISSに向かう2カ月前の9月にイプシロンロケットで打ち上げられた惑星分光観測衛星「ひさき」も、軌道上で機能確認を終了し、定常観測に入りました。山﨑敦ミッションマネージャが、「ひさき」が挑む惑星誕生の謎について解説します。さらに、準天頂衛星初号機「みちびき」の測位信号を利用した車の自動運転や農業機械のロボットなど、よりよい暮らしを実現するために進められている実証実験についてレポートします。

JAXAは、2013年10月1日に創立10周年を迎えました。

イプシロンロケットの打ち上げや小惑星探査機「はやぶさ」に象徴される世界初となる試みは国際的にも評価され、日本の研究開発力や国力の向上に貢献するとともに世界を牽引しています。

このたび「新生JAXA」としての経営理念を**「宇宙と空を活かし、安全で豊かな社会を実現する」**と定め、コーポレートスローガンに「Explore to Realize」を掲げました。

この経営理念を実現するための行動宣言として我々JAXAは

1.**人々の生活の進化に伴う喜び**を目標とし、
2.常に高みを目指した**創造する志**を携え、
3.社会の信頼と期待に応えるため**責任と誇り**をもって「実現する」組織として新しい時代を切り拓こうと考えます。

特に新年度には、新型ロケットの開発や重要な役割を期待される人工衛星の打ち上げ運用のミッションが控えておりますので、これからも皆さまのご支援、ご協力をお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構
理事長　奥村直樹

1 「きぼう」船内実験室で、超小型衛星放出のためのコマンドを送信中（画像上）。放出された超小型衛星（画像左）

“頼れる”「きぼう」と、若田宇宙飛行士

2013年11月から始まった若田光一宇宙飛行士の国際宇宙ステーション長期滞在。「きぼう」日本実験棟からの超小型衛星放出や、難度の高いロボットアームの操作で二度の船外活動を成功に導くなど、若田宇宙飛行士と「きぼう」は持てる力を十分に発揮してミッションを行っています。3月9日にISSコマンダー（船長）に就任し、多忙な日々を送る若田宇宙飛行士のこれまでの活動を、三宅正純 有人宇宙技術センター長に聞きました。

聞き手：寺門和夫（科学ジャーナリスト）／画像提供：JAXA/NASA

2 ISSの外部熱制御システムのポンプモジュールを交換するための船外活動を支援する若田宇宙飛行士。複数のモニタをチェックしながらISSのロボットアーム（SSRMS）を操縦し、SSRMSの先端にマストラキオ宇宙飛行士を乗せて作業場所まで運んだ

3 NASAが実施する目の機能障害を調べる実験中
4 シロイヌナズナを用い、植物が重力に耐える仕組みを解明する実験に取り組む
5 若田宇宙飛行士が操作するSSRMSでISSに結合された米国のシグナス補給船
6 東京スカイツリータウンにあるプラネタリウムで開かれた日本宇宙少年団主催の交信イベントに登場
7 NASAのSprint実験（高負荷・短時間の運動で筋萎縮や骨量の減少を最小限に抑えるプログラムを開発するための実験）に参加し、改良型エクササイズ装置で運動

世界が注目する「きぼう」の新たな利用法

――若田宇宙飛行士のこれまでの活動についてうかがいます。

三宅　二度目の長期滞在ということもあり、到着直後から精力的に仕事をこなしています。2013年11月に行った主な仕事には、超小型衛星の放出と、世界初となる4Kカメラの宇宙実証に向けた機能確認と撮影があります。今回放出した超小型衛星は、宇宙ステーション補給機「こうのとり」4号機で昨年8月に国際宇宙ステーション（ISS）に運んでおいたものです。全部で4個で、ベトナムが東京大学と共同で開発した「ピコドラゴン」、アメリカの民間会社の衛星が2個、そしてNASAの衛星です。

――「きぼう」日本実験棟からの超小型衛星の放出には、海外も興味を持っているのでしょうか。

三宅　アメリカだけでなく、いろいろな国からも関心を持たれています。「きぼう」が持っているロボットアーム、エアロック、船外プラットホームといったユニークな機能が非常に注目されているわけです。10㎝サイズの超小型衛星放出だけでなく、もう少し大きな衛星の放出や、故障した船外機器を船内に回収して修理するといったサービスにも使っていくことにしています。船外活動は時間も人手もかかりますから、船外活動なしに修理が行えることには、安全で効率的な運用の実施という大きな利点があります。「きぼう」には「子アーム」という細かい作業もできるロボットアームもありますので、今後もいろいろな使い方が出てくると思っています。

――4Kカメラも「こうのとり」4号機で運ばれていたわけですね。

三宅　昨年初めにこの計画の話が出てきてから「こうのとり」の打ち上げまであまり時間がありませんでした。ハイビジョンカメラのISS利用については多くの実績がありますが、これだけ短期間に民生品の4Kカメラを安全上問題がないとしてデータを集め、宇宙で使えるようにすることは、非常にチャレンジングなことでした。若田宇宙飛行士は、アイソン彗星やオーロラなどの撮影に成功しましたが、どこかで災害が起きたときなどの撮影にも活用したいと思っています。NASAもぜひ使いたいと言っています。

――「きぼう」独自の通信系も回復しましたね。

三宅　2年半ほど前に、データ中継技術衛星「こだま」と「きぼう」の間の通信装置に電力を供給する装置に不具合が起きてしまいました。これも「こうのとり」4号機で交換装置を運び、若田宇宙飛行士が復旧させました。今後は、実験などを行う際に、筑波宇宙センターと「きぼう」間で直接データ通信ができるので、ぜひ活用していきたいと思っています。

ロボットアームの名手として船外活動を支える

――13年12月にISSの冷却系に不具合が生じ、船外活動が行われました。

三宅　ISSではいろいろな機器から熱が発生するので、船外にある放熱板から逃がしています。熱を放熱板に運ぶために流体のアンモニアをポンプで循環させているのですが、そのアンモニアの流量がうまく制御できなくなりポンプが停止してしまったのです。そのため、熱の発生を抑えるために「きぼう」の電力は半分程度しか使えなくなってしまいました。他国のモジュールにも影響があり、緊急性があるということで、急きょ部品を交換する船外活動が行われたのです。

――若田宇宙飛行士はロボットアームの操作を担当しました。彼が船外に出る可能性はなかったのでしょうか。

三宅　十分な訓練を受けていますから、船外活動を行うことはもちろん可能でした。本人も、「機会があればぜひやりたい」と言っていましたし、JAXA側で若田宇宙飛行士が船外活動を行う場合に備えて、作業の安全性の確認なども行いました。しかし、実際の映像をご覧になった方はお分かりだと思いますが、今回の船外活動は、宇宙飛行士がロボットアームの先端に乗って細かく位置を変えながらコネクターを外したりポンプの交換を行うものでした。位置を正確に決めるために非常に細かく慎重なロボットアームの操作を必要とすることから、NASAは「ロボットアームの操作を若田宇宙飛行士が行うのがベスト」という決定を下したのです。

――船外活動はマストラキオ宇宙飛行士とホプキンス宇宙飛行士が行いました。若田宇宙飛行士はロボットアームの操作だけでなく、2人に指示も出していましたね。

三宅　手順書の注意事項を読み上げたり、「次はこういう作業があるよ」といったことを的確に指示していました。そういうサポートをきめ細かくやってくれたとNASAは非常に高く評価してくれました。作業は順調に進み、もともと3回予定されていた船外活動は2回で済みました。

――「きぼう」での実験は順調ですか。

三宅　研究ではよく知られているモデル植物であるシロイヌナズナを使った植物に対する重力の影響を顕微鏡で見る実験や、マランゴニ対流の観察、メダカを使った実験などが行われています。星出彰彦宇宙飛行士が長期滞在していたときに担当したメダカの実験では、水棲生物実験装置でメダカを長期間飼育しました。今回は、観察用のパレットにメダカを入れて、骨を作る骨芽細胞と骨を壊す破骨細胞に色を付けて顕微鏡で観察します。このシリーズの実験は、宇宙医学やライフサイエンスの研究の一環として力を入れています。将来的には地上での骨粗しょう症の特効薬の開発などにつながるのではないかと期待しています。また、マウスを使った実験も計画されていて実験装置を開発中です。

船長の経験を日本の宇宙開発、宇宙探査へ生かす

――「きぼう」自体の運用もうまくいっていますか。

三宅　この5年間大きな故障もなく、順調に運用しています。何か不具合があっても、クルーや地上の運用管制要員によって的確に対処します。実際のデータを見てもそれは明らかで、「きぼう」の不具合の発生率は、他のモジュールに比べてかなり少ないです。しかも先ほどもご説明したように、「きぼう」ならではのエアロックやロボットアームを用いた新たな利用方法を日本が発案したことで、「きぼう」の重要性は上がっています。今までは科学の実験がメインでしたが、今後は「きぼう」のユニークな機能を使って、将来の宇宙探査に向けた試験や技術実証も行われていくと思います。

――いよいよ若田宇宙飛行士がコマンダーとして活躍することになります。

三宅　私が言うまでもなく、彼の技量なり、リーダーシップに関して心配する人はいません。仲間の宇宙飛行士や地上スタッフの信頼も厚い。前回の長期滞在のときに、他のクルーに「帰らないでほしい」と言わしめた男ですから。私としては、働き過ぎに気をつけ、彼流の〝和を重んじる〟リーダーシップを示してほしいと思っています。彼にはこれから先も、日本の有人宇宙開発や探査計画を引っ張っていってもらわなければなりません。良い意味でISS長期滞在を楽しみながら、コマンダーとしての経験をお土産として持って帰ってきてもらいたいと思います。

画像:JAXA/NASA

◀若田宇宙飛行士がISSから超高感度4Kカメラで撮影した「オーロラ」

画像:JAXA/NHK

「きぼう」ロボットアームに把持された小型衛星放出機構　画像:JAXA/NASA

三宅正純
MIYAKE Masazumi
有人宇宙ミッション本部
有人宇宙技術センター長
兼 ISSプログラムマネージャ

若田宇宙飛行士のtwitterをフォローしよう！
@Astro_Wakata

宇宙実験の解説から体重測定の方法まで、若田宇宙飛行士が徹底解説「週刊若田」
http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/wakata/iss2_library/video/

「みちびき」のある暮らしを目指して

車の自動運転から米作りまで

交通や農業など、幅広い分野で準天頂衛星初号機「みちびき」の精密な測位信号を使った実証実験が進んでいます。便利で安全、安心な暮らしを生み出すための取り組みについて話を聞きました。

聞き手：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

小暮 聡 KOGURE Satoshi
第一衛星利用ミッション本部
衛星測位システム技術室
ミッションマネージャ

武藤勝彦 MUTOH Katsuhiko
同・衛星測位システム技術室
主任開発員

佐藤一敏 SATO Kazutoshi
同・衛星測位システム技術室
主任開発員

館下博昭 TATESHITA Hiroaki
同・衛星測位システム技術室
主任開発員

——準天頂衛星初号機「みちびき」に関して、現在JAXAはどのようなことに取り組んでいますか。

小暮 2010年の打ち上げ以来「みちびき」の運用は順調に行われ、実証実験も進んでいます。今、JAXAでは「みちびき」が送信するLEX信号を使ったPPP（単独搬送波位相測位）という測位技術の開発と実証実験を、外部の方と一緒になって取り組んでいるところです。JAXAは優れた軌道決定技術を持っています。これはまさに衛星測位システムの技術的なコアに当たるところです。この技術を高度化して、日本のみならず、準天頂衛星のカバーエリアであるアジア・オセアニア地域で、数cm級の精密測位を実現するというのが私たちの目標です。従来の衛星測位システムでは、数cm級の精度を得るためには地上の基準局が必要となりますが、私たちの方式では、準天頂衛星のLEX信号で送られてくる「衛星の精密軌道」と「衛星の原子時計の情報」を使うことによって、基準局を必要とせずに、それだけの精度を出せるのです。

——例えば海上や砂漠のような携帯電話の電波が届かないようなところでも、精密な測位ができるのでしょうか。

小暮 準天頂衛星の受信機さえあれば、精密測位ができます。日本の携帯電話の通話エリアは人口カバー率は非常に高いのですが、北海道などに行くと携帯の電波が届かないところもあります。また、アジア・オセアニア地域でもそのような環境はたくさんありますから、この技術が生きてくるのではないかと思います。

駐車も、充電も、お迎えも全て自動で

——それでは実証実験について具体的に聞いていきます。まず、自動車のナビゲーションについて。

武藤 GPSを用いた今のカーナビゲーションでは、位置精度は数m程度ですので、道案内や大まかな車線識別はできても、車線に沿って正しく走っているかどうかを知ることはできません。私たちが取り組んでいるのは10cmぐらいの精度で、このような精度が得られるようになると、自動車のいろいろな制御に使う時代が見えてきます。2013年10月に東京ビッグサイトで行われたITS世界会議の展示会では、マンションの敷地内を想定した自動運転のデモンストレーションを実験協力機関の主催で行いました。ドライバーがハイブリッド自動車をエントランスに停めて降りると、車は自動走行で駐車スペースに行ったり、充電スペースに行って充電を行ったりします。スマートフォンとも連携し、ドライバーが次の日に出かける時間をあらかじめ設定しておくと、翌日、車はエントランスで待っています。

——デモを見た人の反応はいかがでしたか。

武藤 準天頂衛星を使うと自動運転がここまでできるのかと驚かれた方が多かったですね。

——他に、どのような実験を行っているのでしょうか。

武藤 久米島で実験をしています。過疎で高齢化が進む地域で、高齢者の移動手段として自動運転が活用できないかという実験です。一人乗りの小型電気自動車に準天頂衛星の受信機を載せ、高齢者のいる地域と病院までの間を、コントロールセンターの指示の下で自動的に行き来するというものです。

——この技術は高速道路などでも使えるのでしょうか。

武藤 高速道路では過労運転などによる追突やレーン逸脱事故が起きています。準天頂衛星により車線内外が判別できる精密測位が手軽に利用できるようになれば、追突防止やレーン逸脱防止などのシステムが安価に普及し、トラックの運転手の方などの運転負荷を軽減して、痛ましい事故を減らすことができるのではないかと思います。

おいしい米づくりを昼も夜もサポート

——それでは次に、農業機械の実証実験について。

佐藤 ご存知のように、日本では農業従事者の高齢化や耕作放棄地の拡大が問題になっています。そのため、日本の食糧自給率を確保する「攻めの農林水産業」が、安倍政権の成長戦略の一つになっています。私たちはPPPの技術を使って農業の効率化、低コスト化を図るという提案をしていきたいと考えています。

——ここでも、精密測位が必要になるわけですね。

佐藤 PPPの精度は固定点で10cm以下ですが、これを低速移動体である農業機械に利用しても、同じくらいの優れた精度が得られます。そこで、農業機械の運転を無人化、あるいは無人プラス有人の協調作業にすることによって、農業の効率化、低コスト化を図りたいと考えているわけです。2013年に北海道で実験したのですが、大規模な農業経営をしているような地域は里から離れた場所なので、携帯電話の電波が入らず、基準局からの補正情報を受け取ることができません。そういうときに準天頂衛星が送信するLEX信号の情報を使えば、場所に依存することなく、農業機械の運転に必要な精度を確保できます。収穫や肥料をまく際には10cm程度でいいのですが、将来の完全無人化に対応することを考えると、さらなる測位精度が必要です。農業機械そのものに起因する誤差も加味した上で、数cmの測位精度となるように改良を続けていきたいと思っています。

——農作業の効率化にも役立ちそうですね。

佐藤 おいしいお米を収穫するには、穂が下がって、なおかつ台風が来る前に刈り取らなければいけませんから、その期間は2週間程度です。そういう時にはナイター刈りといって、夜間にも農作業をすることがあり、あぜや用水路に落ちないように昼間のうちに周りを刈っておいて、夜間に灯光器を照らして中を刈るということをやっているそうです。準天頂衛星を使えば、昼夜の区別なく、測位精度が必要な作業を無人で行えます。

——農業機械での利用は、日本だけでなく、アジア・オセアニア地域にもマーケットがありそうですね。

佐藤 そうですね。アジアでは二毛作、三毛作とフル回転で農作業が行われていますから、そういうところで使ってもらえれば、農業の革新につながるのではないかと考えています。

ユーザー目線で共同で実験を進める

——この技術をアジア・太平洋地域で使ってもらうためには、どういう取り組みをしていますか。

館下 JAXAでは国連のサポートをもらって、MGA（マルチGNSSアジア）というコミュニティをアジアで立ち上げています。現在アメリカの「GPS」だけでなく、ヨーロッパの「Galileo」、ロシアの「GLONASS」、中国の「Bei-Dou」などの地球的衛星測位システム（GNSS）を利用できるようになってきつつあります。さらに日本の準天頂をはじめ、インドの「IRNSS」や「Bei-Dou」の一部は、地域衛星測位システム（RNSS）であるため、近い将来、特にアジア地域は、使える測位衛星の数が多い地域になります。私たちはそういったマルチGNSS時代に向け、アジアで実証実験を行うことが有効だと考えており、マルチGNSSを使うためのプラットフォームとして、準天頂衛星を使っていただきたいと考えているのです。具体的には、このMGAで、アジア各国とマルチGNSS対応のPPPの実験を進めています。アジアには地上の基準点が整備されていないところも多く、毎年5～10件コンスタントに各国から提案が出てきている状況です。

——オーストラリアでもニーズがあるそうですね。

館下 オーストラリアは、上空を準天頂衛星が通るので、準天頂に対する期待は非常に高く、精密測位に関する共同実験を進めています。オーストラリアでは携帯電話の電波が届かないような広大な土地で、農業や鉱山の露天掘りが行われています。地上の基準局を使った精密測位も行われていますが、基準局データを送信する通信の品質や、見えている測位衛星の個数などによっては精度が落ちてしまうことがあります。そこで、携帯電話などの通信が不要で、基準局がなくても使えるマルチGNSS対応のPPPの利用研究を共同で実施しています。準天頂衛星経由でマルチGNSS対応のPPPに必要な情報を送信し、精度を検証する実験です。

——JAXAとしては今後もこうした研究開発を続けていくことになりますか。

小暮 私たちが今行っているのは、準天頂衛星による精密測位をユーザーの皆さんに使っていただくための研究ですから、その出口になりそうなユーザーの方と一緒に共同して実験をしていく。そういうスタイルで、研究を継続的に行っていきたいと思っています。

進む実証実験

▶車の自動運転

ITS世界会議で行われた「みちびき」の高精度測位を利用した自動走行デモンストレーションの様子。あらかじめプログラムされた時刻に充電ステーションに自動で移動し（画像上）、朝も自動で出迎えてくれる。また、充電ステーションを利用する車が入れ替わることも自動走行で可能に（画像下）。
㈱デンソー、日本電気㈱との共同研究

▶農業機械のロボット化

「みちびき」を使った農業機械の無人化が実現すれば、夜に稲刈りを行い、朝には終わっていることも可能に。センチメートル単位の制御ができれば種まきも自動でできる。画像はGPS受信の障害となる環境や、畑での実験風景。（画像提供：北海道大学）

▶国際貢献

アブラヤシの林の中で行われたGNSSを使った農業機械の実験。マレーシアプトラ大学と共同で実施。

● 「みちびき」の最新情報はこちらから　http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/

大気を見つめ、惑星のなりたちに迫る「ひさき」

2013年9月14日にイプシロンロケットで打ち上げられ順調に観測を続ける惑星分光観測衛星「ひさき」は、ユニークな観測装置を備えた宇宙望遠鏡だ。2014年1月にはハッブル宇宙望遠鏡とともに木星の協調観測を行った。世界の惑星科学コミュニティから注目され期待される「ひさき」の現況を、山崎敦ミッションマネージャに聞いた。

——打ち上げを控えた2012年も、「ひさき」が定常観測に入った13年も、大晦日は2年続けて本当に忙しかったそうですね。

山崎　打ち上げ前の12年の大晦日は、望遠鏡部(ミッション部)を衛星バスの担当メーカーに引き渡す期限を年明けの1月末に控え、ギリギリのスケジュールで走っていました。光学系の性能に関わる諸特性を試験し、振動試験を経てもう一度検査し、性能が変わっていないかどうか確認する、という作業です。

——もし前後で性能に変化があったら……。

山崎　手戻りが生じるとなればスケジュールはさらに綱渡りになり、打ち上げの遅れも避けられなかった。結果的には、組み立て前のコンポーネントレベルで充分な試験を重ねてきたので、作業そのものはトラブルなく進んでいったのですが、緊張はしましたね。13年の大晦日も、作業の合間に紅白をチラ見してからまた作業する、という年越しでした(笑)。

山崎 敦
YAMAZAKI Atsushi
宇宙科学研究所
太陽系科学研究系 助教

高性能はメーカーの努力のたまもの

——衛星の上半分の台形の部分が、ミッション部の望遠鏡ですね。

山崎　はい。先端の斜めに切った筒先から光を取り込んで、箱の底部にある凹面鏡で反射させ、箱の肩に載っている光学系の機器に導きます。この肩の部分に、回折格子や受光素子などが入っています。

——台形の箱は、ほぼがらんどうなんですか?

山崎　そうです。重量もミッション部全体で100kg程度と軽い。熱ひずみの小さいカーボン繊維強化プラスチックのパネルを組み立て、その回りを金色の断熱シートで覆っています。軽くて大きくて先端に重い物が載っているが、太陽の熱に当たっても変形せず必要な精度を維持しなければならないという、構造的には難易度の高いものでした。光軸方向の熱ひずみの許容量は反射鏡の焦点距離1600㎜に対して0・2㎜以内。熱と構造の設計者だけでなく、システム設計者も交えて、議論・解析を繰り返し、フライト品に対して実際に荷重をかける環境試験を安心できるまで実施しました。

——望遠鏡の筒先がナナメに切ってあるのは、帽子のツバやカメラのレンズフードと同じで、太陽のまぶしさを避けるため?

山崎　そうです。ナナメの背中側に太陽を置く形で離角20度まで観測できます。金星よりもっと太陽の近くにいる水星の観測も想定して、あの形になっています。

——反射鏡は特殊なもの?

山崎　直径20cmのオフセットがかかった放物面鏡です。可視光より波長が短い紫外線を扱うので、普通の高性能な望遠鏡のざっと100倍ぐらい平滑に磨かないといけない。メーカーでも「限界ギリギリまでやってみる」ということで性能を出してもらいました。

——ポインティング精度が「5秒角以内」というのもアピールポイントだとか。1秒角が1度の3600分の1ですから0・00139度……、円周の26万分の1以内という想像もつかないレベル……。

山崎　望遠鏡からの情報を姿勢制御システムにフィードバックするという、アクロバティックなことをやって性能を出しています。熱ひずみにしてもポインティング精度にしても、関わった企業の皆さんの力の、足し算ではなく掛け算で実現した性能なんです。

ファーストライトにこぎつける

——初観測画像の発表は、13年の11月末。

山崎　13年11月に木星、金星、そして年末から木星の連続観測に入りました。

——「非常にユニークな観測をする衛星だが、発表される画像はおそらく難解なものとなるだろう」と聞いていましたが、出た画像はやはり難解でした。

山崎　工学系の先生方も「これ、何……」という反応でした。「おおーっ!」と喜んだのは、理学系の人間だけ(笑)。

——極端紫外線という非常に波長の短い光を見ているわけですが、この画像にはどのような情報が載っているんでしょうか?

山崎　この帯域の光は惑星や衛星から流れ出していく大気の原子やイオンを見るのにちょうどいい。原子やイオンが固有の周波数で光を発する〝輝線〟が集中しています。ですので、見えている範囲にどんな原子やイオンが存在するのか、その種類がヨコ軸方向に記録されているわけです。

——旧式ラジオのチューニングつまみを動かして、ラジオ局ごとの受信感度を記録した、というような感じですか。

山崎　そうですね。あと細いスリットを通して外を見ていますが、そのスリットの長手方向の空間位置情報も含まれています。

——ラジオ局の例えでいうと、アンテナの方位角で変わる受信電波強度も拾っていると?

山崎　そうですね。視線方向の400秒角の狭い範囲ですが、明るさの違いとして記録されています。それがタテ軸に表れています。それだけの情報を、時間をかけてスキャンするのでなく一瞬で捉えます。

——方位角と周波数を一瞬でスキャンするようなもの、と考えてみると、かなりスゴイものだという気がしてきました。

山崎　そうしたことができる望遠鏡で、惑星観測だけをする衛星はこれまでなかったんですよ。

〝砂粒〟と〝波〟に例えてみると

——「ひさき」が明らかにしたいシナリオは?

山崎　同じ太陽系に生まれ育ったのに、地球と他の惑星はどうしてこんなに違うのかを知りたい。そこがポイントです。太陽系はできてから約46億年経っていますが、どういう変遷をたどって地球は地球に、金星は金星に、木星は木星になったのか……。行って調べるか、見て調べるかしかないわけですが、自分たちが得意な方法ということで、太陽から吹き出す粒子の流れ、「太陽風」と、惑星の大気がどのように相互作用しているのか、そこに惑星磁場がどう関わっているかに着目しています。

——惑星大気を砂浜、大気の分子を砂粒、太陽風を打ち寄せる波に例えてみると……。

山崎　そうですね、波で砂粒が剥ぎ取られて砂浜が細ってしまったのが火星。地球の場合は磁場が消波ブロックの役割をしてくれて、砂浜が残っているという感じでしょうか。金星だと太陽に近い分、波は強いが、砂の存在量が大量なので立派すぎる砂浜が残っている。磁場が非常に強い木星は、消波ブロックというより強固な防波堤が築かれた状態でしょうか。

——イメージしやすくなりました。すると「ひさき」は、砂浜から漂い出した砂粒を遠くから眺め、その種類や数を測ることができるのだ、ということですか。

山崎　そういうことになります。

——だんだんすごさが分かってきました。

山崎　ただし、突き止めたいのは、どんな大きさの波が来たときに、どの程度漂い出したか、その相関関係です。

——その関係が分かれば、太陽系の時計を巻き戻し、惑星進化のシナリオが描ける?

山崎　大きくいえばそういうことになります。波の大きさ、つまり太陽風を測る手段を「ひさき」は持っていないので、他の望遠鏡と協力して観測したい。そういう考えで打ち上げ前から提案していたのが、ハッブル宇宙望遠鏡などとの協調観測でした。

ハッブルとの協調観測が実現

——木星をハッブルといっしょに見たわけですね。

山崎　年明けの1月1日から約2週間、ちょうど木星が、月でいう満月に相当する〝衝〟の時期にあたり観測の好機でした。

——ハッブルといえば、数ある宇宙望遠鏡の中でもスター中のスター。人類の宇宙観を塗り替える仕事をした存在です。

山崎　他にないユニークな能力を認め、宇宙研のポスドクメンバーの観測提案に応えてくれたことで、1日1回14日間もの長時間にわたる観測時間がとれたわけです。

——これはとんでもないことですか?

山崎　そうなんです。ハッブルの木星の観測時間は、一つの観測テーマとしては過去最長級です。木星の北極側に生じるオーロラの空間構造をハッブルに観測してもらいながら、「ひさき」はオーロラとともに木星の周辺を見ました。

——打ち寄せる波で揺らめくオーロラと、周囲に漂う砂粒を「ひさき」がつかまえる……。

山崎　メカニズムについてはいくつかの仮説があり、それを確定する決定的なデータが取れるかもしれません。あるいはもっと謎に満ちたデータになるかもしれません。いずれにしても解析には時間が必要なので、結果をお知らせするにはまだしばらくかかると思いますが、楽しみにお待ちください。

「ひさき」の構造

天体からの光
極端紫外線分光装置
スリット
視野ガイドカメラ
主鏡

直径20cmの主鏡で反射された光は、スリットを通して分光装置に導入され、細かな凹凸が精密に刻まれた回折格子を経て波長ごとに分離され、検出器に到達する。検出面は35mmフィルム2コマ分ほどの大きさ。ヨウ化セレンを受光面に塗布したマイクロチャンネルプレートと呼ばれる、電子なだれ現象を応用したデバイス

ハッブル宇宙望遠鏡とX線天文衛星チャンドラとの観測による木星の合成画像。南北の極にオーロラが見える
画像 X-ray: NASA/CXC/SwRI/R.Gladstone et al.; Optical: NASA/ESA/Hubble Heritage (AURA/STScI)

「ひさき」が初期観測で得た木星のスペクトル

木星の光(オーロラ含む)
木星磁気圏の光
空間
波長
地球大気の光
Counts(5min)
Pixel

ガイドカメラ画像

木星
スリット

左が視野ガイドカメラの画像。スリット状に欠けた部分、すなわちスリットを通過した光が観測データとなる。検出器で得られた画像(上)の横軸は波長(150〜50ナノメートル)で、縦軸の「空間」は、光が来た方向という意味。スリットの上下(長手)方向に対応している。特に明るく観測されているのは、地球周辺の大気の光だが、地球の大気には存在しないはずの波長に木星磁気圏の光や木星オーロラなどが検出されている

ワシントンD.C.で国際宇宙探査フォーラム開催
協調と競争の両輪で宇宙探査を進める

2014年1月9日、「国際宇宙探査フォーラム」（International Space Exploration Forum：ISEF）がワシントンDCで開催されました。米国国務省の主催の下で、合計35に及ぶ各国政府や宇宙機関が一同に集まり、宇宙探査の意義や今後の宇宙探査に向けた考え方などについて意見交換を行いました。

その中でも特に、小惑星、月、火星などに対する宇宙探査の重要性を考慮して、これらを国際協力に基づく長期的な目標と位置付けたほか、国際宇宙ステーション（ISS）による数々の成果も、科学実験のみならず、将来の宇宙探査において利用価値があると判断され、NASAからは24年までの継続的な運用が表明されました。この会合には下村博文文部科学大臣、奥村直樹JAXA理事長らが出席し、得意とする技術や独自技術を生かして、将来の宇宙探査に主体的に貢献していく旨を述べました。

また、科学技術が国家の存在基盤である我が国としては、宇宙探査は長期にわたる国際的活動になるため、政策レベルで積極的に取り組むとともに、経済成長や豊かな社会の実現には国際協力（international cooperation）と、競争に基づくイノベーション（competition-driven）の要素が不可欠であることを共通認識としました。

次回の会合は、16年もしくは17年に日本での開催が予定されています。

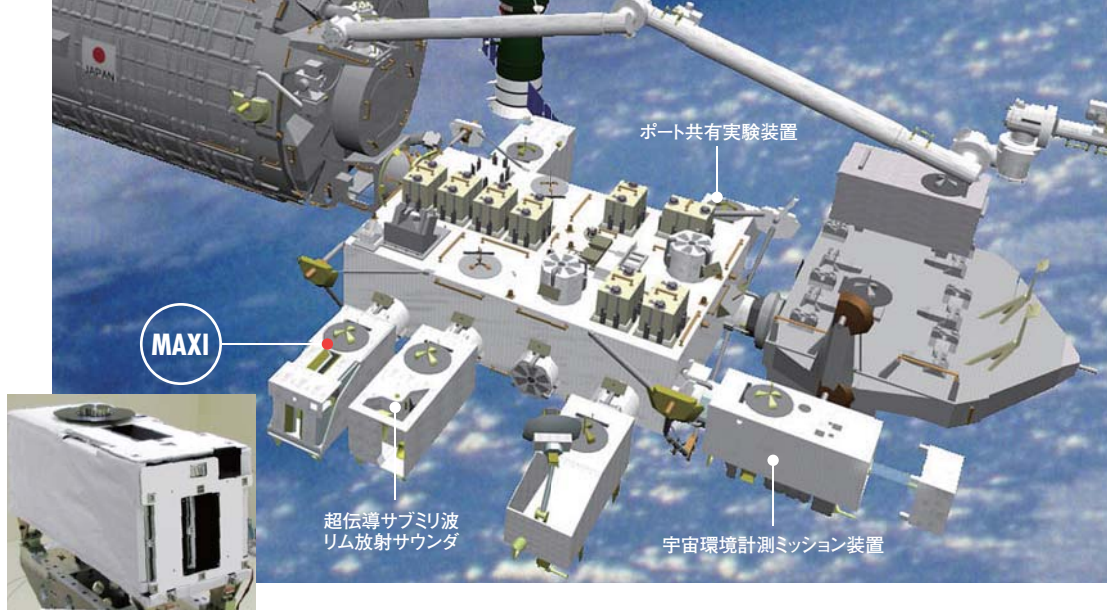
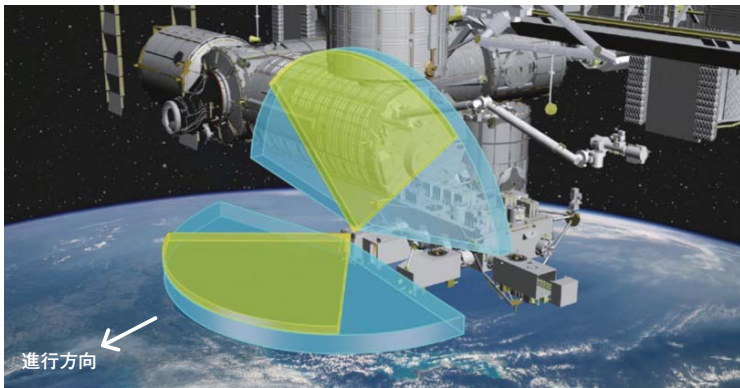
ISEFで発言する奥村理事長

コマンダーに就任した若田宇宙飛行士は、「（15カ国が参加する）地球最大規模の国際プロジェクトで大役を任され日本人として誇りに思う。『和』の心を大切にし、日本らしさをもって船長業務をまっとうしたい」と決意を述べた。また、発生から3年を迎える東日本大震災にも触れ、「ISSからも被災地の街の明かりが力強く輝いているのが見える。復興への努力を感じ、強く励まされています」と語った。コマンダー就任を受け安倍晋三首相は、「若田宇宙飛行士の卓越した能力と周囲からの厚い信頼に加え、我が国のISS計画への貢献が高く評価されている表れでもあり、誇りに思います」と祝福した

1 2014年3月9日、第39次長期滞在が開始され、若田宇宙飛行士が日本人初のISSコマンダーに就任した。画像はISSの指揮権を若田宇宙飛行士に移譲するセレモニーの様子 2 ISSの観測窓「キューポラ」に飾られた若田宇宙飛行士の書初め 3 若田宇宙飛行士がISS到着後の2013年11月8日に撮影されたクルー9人の集合写真 4 2013年11月23日にISSから撮影したアイソン彗星 5 ISSから見た関東地方のまばゆい夜景 6 2014年に打ち上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」は、有機物や水をより多く含んでいると考えられるC型小惑星からのサンプルリターンを目指す（画像：池下章裕） 7 宇宙ステーション補給機「こうのとり」は技術実証機から4号機までミッションを達成。高い技術と安定した運用で今後もISSを支えていく

画像：JAXA/NASA

MAXIは前方と上方の二つの視野を持つ（画像下）。それぞれにGSC（ガススリットカメラ、視野を青で示す）とSSC（ソリッドステートカメラ、同じく黄色で）を備え、全天をモニターする。同プラットフォームにはMAXIの他、宇宙空間の環境計測や地球観測、船外活動支援ロボットの実証実験モデル、雷計測、ハイビジョンカメラなどが取り付けられている。（画像左）

ポート共有実験装置
MAXI
超伝導サブミリ波リム放射サウンダ
宇宙環境計測ミッション装置
進行方向

未知の天体からのX線をISSで待ち受け中

「MAXI」がもたらすサイエンス

国際宇宙ステーション（ISS）のモジュールの中で、「きぼう」日本実験棟だけが持つ唯一の施設が「船外実験プラットフォーム」だ。2009年にスペースシャトルでISSに輸送され、長期滞在中の若田宇宙飛行士らの手で「きぼう」船内実験室の外側に設置された、いわば"見晴らしの良いバルコニー"。曝露部とも呼ばれるこのモジュールは、プラットフォームという名前の通り、電力や通信機能や冷却液などを複数の実験装置に提供することができる。取り付け可能な装置は底面1m角・高さ2m弱のほぼ電話ボックス大の直方体。取り付け場所は10カ所あり、5カ所ずつを日米が按分して使用している。

そのうちの1つが、X線で全天を監視する装置「MAXI」だ。船外実験プラットフォームとともに宇宙に運ばれ、設置の1カ月後から観測運用を開始した。

●

「小田先生が『曝露部を作ったほうがいいというのは、僕のアイデアだったんだよ』とおっしゃっていたのを聞いた記憶があります」と語るのは、MAXIプロジェクトの立ち上げから深く関わってきた河合誠之東工大教授。"小田先生"とは「すだれコリメータ」の発明や、初めてブラックホールと特定された天体「はくちょう座X-1」で知られる日本のX線天文学の牽引役、小田稔博士のこと。船外実験プラットフォームは、ISSという立地に恵まれたマンションの物件価値をさらに高めるバルコニーであり、これが宇宙利用と宇宙科学に大きく貢献することを小田は見通していたようだ。

河合誠之
KAWAI Nobuyuki
東京工業大学理工学研究科
基礎物理学専攻 教授

"見えないブラックホール"をX線で観測

MAXIは細長い視野を持つ全天監視カメラだ。ISSの前方と上方に向けられたスリットを持ち、それぞれほぼ180度幅の細長い領域からのX線をキャッチする。ある瞬間で見た場合、視野の広さは2つのスリットを合わせても全天の2%にすぎないが、ISSが地球を1周することで約85%、1日で約95%、27日間で全天100%をくまなくスキャンする。車でいうドライブレコーダーのようなもので、動きながら変わっていく景色を撮り続けて記録しているため、「何かが起こったとき」だけでなく、「何かが起こる前」に時間をさかのぼってデータを確認することもできる。

X線やガンマ線など短い波長・高エネルギー領域で見る宇宙は、電波や赤外線や可視光で見る宇宙とは異なる様相を見せてくれる。特にブラックホール観測に関して、X線は非常に有力な観測波長である。

「最近では発見される新たなブラックホールの半数がMAXIによるものです」と河合教授は言う。

巨大な質量を持つブラックホールは、光すら脱出できないほどの強い重力を持つことはよく知られているが、では光さえ出られないならどうやってブラックホールを見つけるのか?

それはブラックホールに飲み込まれる物質があたかも「悲鳴」を上げるように、超高温となってX線を放射するからだ。それを手がかりにブラックホールの存在だけでなく、その性状をも知ることができる。新たに発見されるX線天体は、数秒~数日と非常に短い時間スケールの中で変動するケースが多い。その変動は、既知のパターンであったり、そうでなかったりする。特定の目標を定めるのではなく全天をスキャンしているため、にわかには説明のつかない天文現象を捉えてしまうこともある。

「X線で急に明るくなった天体を見つけたが、その場所を調べると、われわれの銀河の外の非常に遠くにある天体らしい。それでいてこれだけの明るさがあるということは、恒星が出せる明るさの理論的上限の100倍以上に相当する。あでもない、こうでもないという議論の末、一番もっともらしい考え方として『軽い恒星の一生の終わりである白色矮星上の"新星爆発"の、点火の瞬間を見てしまった。爆発で吹き飛ばされた物質が、吹き飛ばされながら光っている、その光を捉えた』という論文となりました」（河合教授）

全天監視だからこそ捉えることができた、ダイナミックな宇宙の鼓動。MAXIの成果を伝えるリストを拾ってみただけでも、ざっと以下のようなものがある。

「草をはむようにゆっくりと物質を飲み込む"草食系ブラックホール"の発見」

「月の視直径の40倍もの広がりを持つ、"極"超新星（ハイパーノバ）の残骸を発見」

「"近所"で爆発した宇宙のモンスター 観測史上最大級のガンマ線バースト」

「100万年以内の爆発が予測される、オリオン座ベテルギウスの監視」

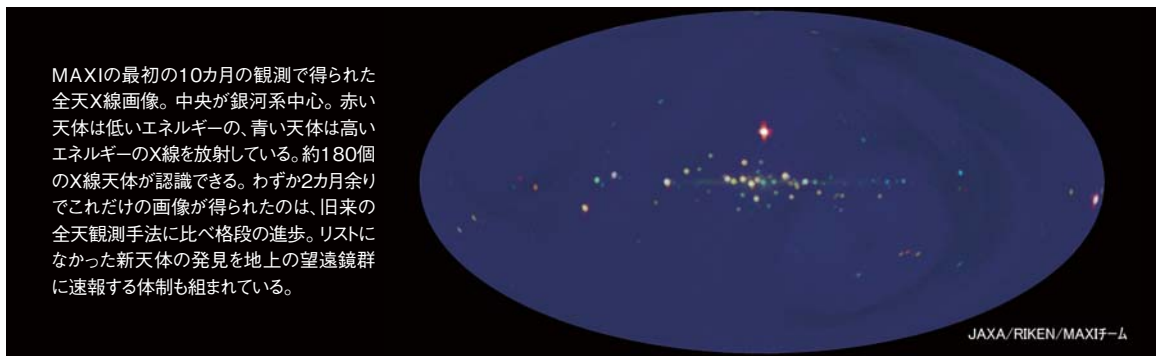
これらのレポートのユニークなネーミングや言葉遣いには、未知の現象に出合った研究者たちの戸惑いや喜びがにじみ出ているかのようだ。

観測と理論の両輪で科学は発展

はくちょう（1979年）、てんま（83年）、ぎんが（87年）、あすか（93年）、すざく（2005年）と、世界をリードする高性能のX線望遠鏡を絶えず送り出してきた日本にとって、それらとは異なるスコープと、異なるアプローチの観測装置を持っていることは「お家芸」の継承に大きな強みとなる。しかも現在、X線で全天サーベイ観測を行っているのはMAXIのみ。予期せぬX線天体が現れるのは明日かもしれない。

折しも神岡鉱山地下の「KAGRA」など、重力波望遠鏡が世界中で動き始める時期を迎え、MAXIにはまた新たな役割が加わったと河合教授は言う。

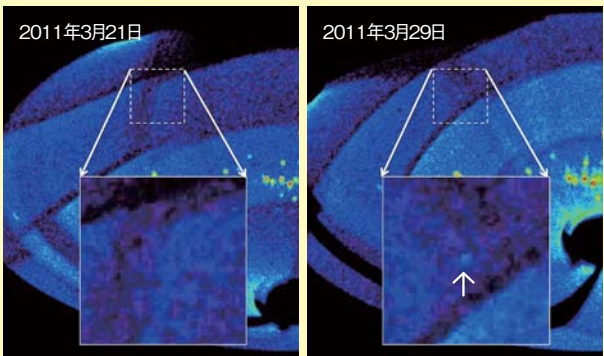
「重力波望遠鏡でキャッチするような現象なら、おそらくX線でも何か見えるはず。どの方向から重力波が来たかを特定するには、MAXIのような観測装置が非常に役立つわけです。重力波を見つければ確実にノーベル賞と言われています。賞を受けるのは見つけた人たちでしょうが、それをきちんと天体現象と結び付けるような観測が必要だし、MAXIならできるはず。ぜひやってみたいことの一つです」

物理学の世界では、「ヒッグス粒子」のように、理論が先行し後に実験がそれを証明するような大発見もあれば、観測事実から新たな解釈や理論が生まれるケースもある。全天監視でX線を待ち受けるMAXIがとんでもないものを見つけてしまう"Xデー"を楽しみに待ちたい。

MAXIの最初の10カ月の観測で得られた全天X線画像。中央が銀河系中心。赤い天体は低いエネルギーの、青い天体は高いエネルギーのX線を放射している。約180個のX線天体が認識できる。わずか2カ月余りでこれだけの画像が得られたのは、旧来の全天観測手法に比べ格段の進歩。リストになかった新天体の発見を地上の望遠鏡群に速報する体制も組まれている。

世界初観測が続々!

ほとんどの銀河は中心に巨大な質量のブラックホールを抱えている。その質量は太陽の100万倍以上。たまたま近くを恒星が通りかかると非常に強い重力で破壊され、ブラックホールの周囲に円盤を形成（降着円盤）、回転しながらブラックホールに落ち込んで行く直前に、数百万度の高温となってX線を放射する。またブラックホールの回転軸方向には、光速近くまで加速された粒子のジェットも形成され、この粒子が放つ電磁波もX線領域で観測される。これらX線により、間接的にブラックホールの存在や性状が示される。

1 巨大ブラックホールに星が吸い込まれる瞬間を観測

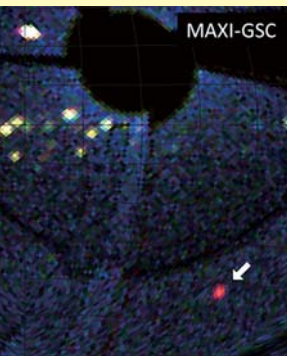
地球から39億光年離れた銀河のある場所から、米国のSwift衛星、次いでMAXIが急な増光を発見。全天監視を行なっているMAXIの過去のデータを見直し、その領域に以前はX線を出す天体が"なかった"ことから、それまで活動していなかったブラックホールが恒星を吸い込む瞬間を初めて観測したものであることが分かった。

2 新種発見 草食系ブラックホール

ブラックホールは、急激に物質を飲み込んで数日で明るさがピークに達するものと思われていた。しかし中にはゆっくりと明るくなり、あまり明るさの変わらない状態が続くタイプのブラックホールもあることが分かった。MAXIが観測した天体（図中の矢印）は明るさがピークに達するまで発見から3カ月かかった。明るくなるパターンもこれまでの理論では説明がつかず、新種のブラックホールと考えられる。そこで大量の物質を飲み込む従来の「肉食系」とは対照的にマイペースで草をはむ草食動物になぞらえ、「草食系ブラックホール」と名付けられた。

3 新星爆発の瞬間の「火の玉」観測に成功

通常の新星爆発の約100倍の明るさの閃光を放つ新星を検出。検討の結果、非常に重い白色矮星で起こった、新星爆発の初期に星全体を包み込む「火の玉」からの放射だと分かった。もちろんこのような観測は史上初めて。ただし、閃光の中に既存の理論では説明できない「ネオン（Ne）のX線領域での輝線」を発見。観測データと現在の理論の齟齬が今後の天文学に広く影響を与える可能性がある。

文:喜多充成（科学技術ライター）

レーザー光で捉え、機体の揺れを抑える
「乱気流事故防止機体技術」

町田 茂
MACHIDA Shigeru
航空本部「SafeAvio」
プリプロジェクト
チームリーダ

井之口 浜木
INOKUCHI Hamaki
航空本部 運航システム・
安全技術研究グループ
アソシエイトフェロー

乱気流は航空機事故につながりかねないやっかいな存在です。雨や雲を伴う乱気流は航空機の気象レーダで検知できますが、晴天時の乱気流を見つけることはできません。晴天時の乱気流から乗客と乗員を守るため、JAXAでは「乱気流事故防止機体技術の実証」(SafeAvio／セーフアビオ)の研究開発を行っています。

聞き手：寺門和夫(科学ジャーナリスト)

事前に検知し自動制御で揺れをコントロール

――JAXAでは以前から、乱気流による航空機事故を防ぐためにドップラーライダーの研究を進めてきましたね。

井之口　晴天時の乱気流を測る装置としてドップラーライダーという装置を開発してきました。大気中にレーザー光線を放射して、大気中のエアロゾル(微細な粒子)からの反射を測ることによって、乱気流がどこにあるかを検知するものです。空港などに設置する、地上用のドップラーライダーはすでにありますが、航空機に搭載するにはとても大きな装置で消費電力も多いです。そのため、全く別の方法を取ろうということで、開発をスタートさせました。

――どのような方法なのでしょうか。

井之口　光通信で使われている光ファイバーアンプを使い、小型のものを開発しています。最初に飛行実験をしたころには出力が小さく、1～2km先までしか検知できませんでした。しかし、その後、高出力化を進め、今では高度4万フィート(約1万2000m)で9km先の乱気流を検知できるようになっています。

――その後、2012年に「SafeAvio(乱気流事故防止機体技術の実証)」という研究開発がスタートします。これはどういうものですか。

町田　9km先の乱気流の検知という目標は達成したのですが、巡航速度で飛行している旅客機を考えた場合、乱気流に到達するまで30秒ぐらいしかありません。キャビンアテンダントがサービス中にこういう事態になった際、出しているものを全部収めて、自分が着席するのに5分はかかってしまいます。かといって、パイロットが急な操舵をして乱気流を回避するのは大変危険です。そこで、乱気流を検知する装置と、乱気流に入ったときに自動制御で揺れを少なくするシステムを組み合わせようということになりました。それが「SafeAvio」です。

――機体を自動制御するための技術基盤はJAXAにあったのでしょうか。

町田　はい、1980年代から研究しています。機体を制御するための理論の研究や風洞での模型実験、JAXAの保有する双発のプロペラ機での試験を行ってきました。

――「SafeAvio」の実用化のためには、今後何が課題でしょうか。

町田　ドップラーライダーの検知性能を落とさないで小型・軽量化していくということ、それからパイロットに情報を提供する方法の研究、そして機体を確実に制御する方法の開発です。まず、15年度までにドップラーライダーを小型・軽量化し、16年度に飛行実証を行います。また、14年度から3年間かけて機体制御の技術を開発し、4年後には、乱気流検知と機体制御を合わせたシステムの飛行実証を行いたいと考えています。

世界トップの技術で市場開拓を目指す

――ドップラーライダーの小型化、軽量化の見通しは。

井之口　もともと小型化が可能な技術を使っていますが、これまでは実験用だったので、本格的な小型化には取り組んできませんでした。電子装置の部分は小型化の余地はかなりあると思います。ただし、機体制御のために乱気流を検知するだけでなく、上下方向の風速を知る必要も出てきましたので、光学系は2個になりました。それを小型化し、それでも性能が落ちないようにしなければなりません。

――その他にどのような課題がありますか。

井之口　耐空性といいますが、飛行機に載せた際の振動、衝撃、気温、気圧などに耐えられ、安全に運用できるものでなくてはなりません。また、前に向けてレーザー光を出しますので、機体のどこに設置するかも問題です。ノーズ部のできるだけ前に付けたいのですが、そこにはすでにいろいろな装置が置かれていて難しい。取り付け位置によっては機体にでっぱりができてしまい、騒音などの原因になる可能性もある。主翼の根本あたりに与圧のボックスを作り、その中に入れる案もあります。

――この技術は航空機が高いところを飛んでいるときだけでなくて、着陸直前などのシチュエーションでも使えるのですか。

町田　もちろんです。私たちは2つのフェーズを考えています。高高度での巡航時、そして進入着陸時です。着陸の際も乱気流による事故が多く起こっています。この場合には、パイロットにどのくらい先にどのくらいの強さの乱気流があるかを教えます。パイロットはその情報に基づいて着陸を一度断念し、やり直しをすることができます。

――海外で同じような研究をしているところはあるのでしょうか。

町田　ライダーを使った検知の研究というのは、アメリカやヨーロッパでも行われていますが、装置がとても大きくしかも重いので、なかなか航空機に搭載できない。私たちがトップを走っている状態です。

――海外の航空機メーカーもJAXAの技術に興味を持っているでしょうね。

町田　そうですね。実際、私たちはボーイング社と3年前から共同研究を進めています。

――旅客機のメーカーはみな海外ですから、そこに日本の装置を載せるのはなかなか難しいのではないですか。

町田　航空機の個々の機器や、それらをまとめるシステム全部が海外にあるなかで、そこを突破しようとすれば、やはり新しい分野でなければいけません。そういう意味で、「SafeAvio」は国際的な市場に出ていける可能性があります。乱気流の検知技術はICAO(国際民間航空機関)でも「これから必要な技術」として位置付けられており、日本の交通基本計画でも触れられています。国の施策にものっとっている技術なので、JAXAとして力を入れていきたいと思います。

――日本のエアライン関係者からの要望は。

町田　何回もミーティングさせていただいています。やはり、「何秒でもいいから早く情報が欲しい」、「早く実用化して欲しい」というお話をいただいています。この技術はパイロットのみならず、キャビンアテンダント、そして乗客にとっても重要な技術だと思います。乱気流による事故は多いですから。

――最後に今後の抱負をお願いします。

町田　この技術はエンドユーザーであるエアラインの方が大きな期待を寄せている。それだけでなく、日本の航空機装備品メーカーのレベルをアップさせ、国際的な航空安全に貢献することもできますので、実用化に向けて頑張っていきたいと思います。

井之口　事故を減らすという非常に単純で、しかも誰からも期待してもらえる目標を持った研究です。やっと実現する方向に近づいてきましたので、確実に事故を減らすところまでもっていきたいと思っています。

巡航中の高高度や進入着陸時に乱気流による事故が発生する

2011年度に試作した最新型のドップラーライダー(左)と光アンテナ(右)。実験用航空機に搭載して実証実験が行われ、小型軽量化も進められている

乱気流事故防止システムの働き

機体前方に「乱気流計測装置」からレーザー光を発射し、大気中のエアロゾルからの反射を測ることで乱気流を見つけ出す

検知で得られた気流情報を用いて、その乱れの中に進入しても機体が揺れないような制御入力を計算する

制御による計算結果をアクチュエータに伝え、風の乱れに備えて制御舵面を動かして機体の揺れを小さくする

2

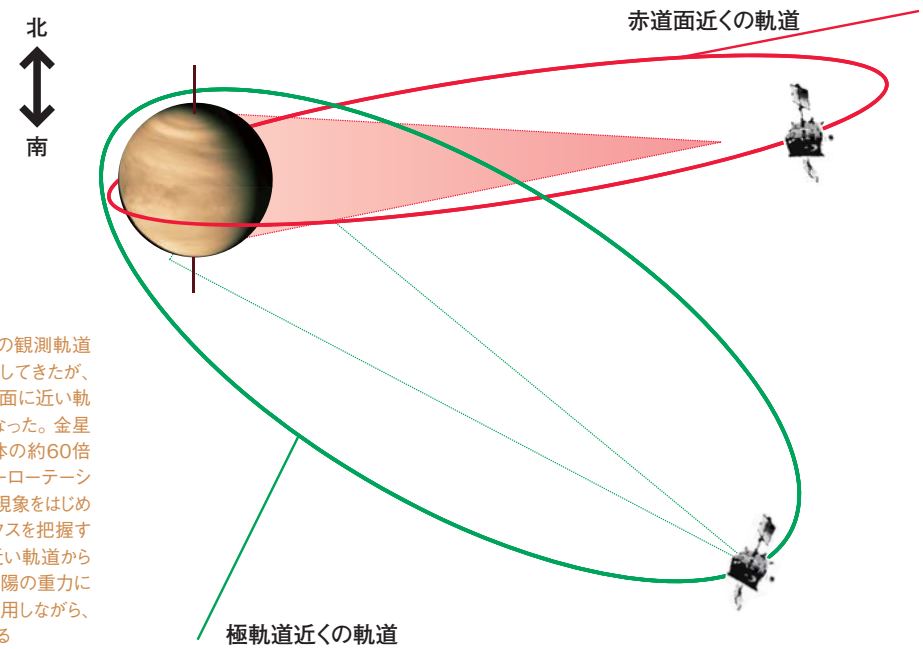
年後に迫る金星との再会合に向け、金星探査機「あかつき」は力強く時を刻んでいる。

「昨年11月に、GEOTAIL※以来の友人でありNASAの惑星科学部門のチーフであるジム・グリーン博士をワシントンのNASA本部に訪ね、"2015年11月に軌道投入に再挑戦する。前回同様の協力と支援を"とお願いしてきました。観測データの解析に関しても、NASAの科学者との共同研究を予定しています」と、「あかつき」プロジェクトの中村正人プロジェクトマネージャは語る。

「あかつき」は2010年5月の打ち上げから半年かけて金星に到達。同年12月7日に実施した周回軌道投入のためのエンジン噴射が予定より短時間で停止し、軌道投入を果たせなかった。

その後の原因分析で、推進剤を加圧するバルブの不具合により、エンジンのノズルが破損、姿勢が乱れて緊急停止したというシナリオが浮かび上がった。メインエンジン喪失で、使えるのは推力が約20分の1の姿勢制御用スラスタのみ。11年秋には不要になった酸化剤を投棄して重量を減らし、近日点制御のための軌道調整を姿勢制御用スラスタで行って、見事成功。当初はもっと先と見られていた金星との再会合を15年に引き寄せた。金星が太陽を8周する間に、「あかつき」は9周。いったん追い越してしまった金星に

金星再会合まで700日を切る
「あかつき」、再挑戦へのカウントダウン

北
南
赤道面近くの軌道
極軌道近くの軌道

金星周回軌道に再投入後の観測軌道について2つの軌道を検討してきたが、観測成果がより出せる赤道面に近い軌道への投入を目指すことになった。金星の雲はわずか4日、金星本体の約60倍という高速で回転（スーパーローテーション）している。こうした気象現象をはじめとする金星大気のダイナミクスを把握するためには、より赤道面に近い軌道から観測することが望ましい。太陽の重力による影響（摂動）も考慮、利用しながら、軌道の検討が重ねられている

再び接近、そして再び出合うのが15年11月としたわけだ。

「設計条件を超える太陽からの入熱にさらされ、温度の上がった機器がいつまで正常に機能するか心配しています。金星では地球近傍の2倍の熱を受けるので、そこまでは覚悟していたが、『あかつき』は3倍の熱を受ける距離まで近づく。1回目、2回目の接近では温度が想定以上に上昇し気をもみましたが、幸い3、4、5回を経ても目立った異常はない。このまま持ちこたえてくれるのではないかと期待しています」（中村プロジェクトマネージャ）

「探査機の運用は週4回ペースで続け、健康状態を常に監視しています。宇宙科学研究所には、水星探査を想定し10倍の太陽光を模擬するソーラーシミュレーターという最新設備がありますが、『あかつき』で使っている熱制御材も太陽光入熱の加速試験を続け、劣化具合の把握に努めています」（石井信明教授）

過去の検討では、「観測に制約は出るが、15年に周回軌道に投入」か、「15年はスイングバイのみで、16年により観測に適した周回軌道に投入」の二つの選択肢を、搭載機器の劣化を見ながら選ばなければならないという局面もあったが、軌道の検討を重ね「観測に制約の少ない周回軌道に、15年に軌道投入」という方向性が見えてきた。

「かつては新人だったプロジェクトメンバーも、頼れる中堅やベテランとしていろんなミッションやプロジェクトで活躍している。金星再会合まで700日を切り、チームを再結集させる動きを始めています。日本はまだ惑星周回軌道に探査機を入れていません。満身創痍となってもそれをやり遂げ、観測を開始しなければなりません」（中村プロジェクトマネージャ）

周回軌道投入の当日、NASAのDSN（深宇宙ネットワーク）の支援も得て、24時間体制で金星にアンテナを向け、姿勢制御用スラスタ4本を、同時に約20分間連続噴射する、という一発勝負の運用が行われる。緊急停止は二度と許されない。その日に向けたカウントダウンは、始まっている。

プロジェクトチームには、年始、バレンタイン、端午の節句、誕生日(5/21)、七夕、ハロウィン、クリスマスなど、1年を通してたくさんのカードやメッセージとともに、チョコレートや手作りフィギュアなどが寄せられ、メンバーの大きな励みになっている

中村正人
NAKAMURA Masato
宇宙科学研究所
太陽系科学研究系教授
「あかつき」プロジェクトマネージャ

石井信明
ISHII Nobuaki
宇宙科学研究所
宇宙飛翔工学研究系教授
「あかつき」プロジェクトエンジニア

取材:喜多充成（科学技術ライター）

（※）地球磁気圏観測の日米共同ミッション。日本が観測衛星を製作しNASAが1992年に打ち上げ

「4次元デジタル地球儀ダジック・アース」を楽しもう！

ダジック・アース（http://www.dagik.net/）は、地球や惑星などの地図情報を立体的に表示するためのシステムです。学校や科学館や家庭などで地球・惑星科学に親しんでいただくために開発されました。開発には文部科学省の宇宙利用促進調整委託費（平成21～23年度）の支援を受け、今回はさらに宇宙科学技術推進調整委託費（平成25～27年度）に採択され、2年半かけて、(1)学校や科学館などで容易に使える立体表示システムの開発、(2)宇宙からの地球観測データ、月・惑星データ、天文データなどを用いた立体表示コンテンツの作成、(3)球形立体表示システムとコンテンツを用いた宇宙地球教育プログラムの開発、(4)宇宙地球教育プログラムの実施とフィードバック、に取り組むことになりました。京都大学、JAXA、情報通信研究機構、静岡大学の研究者による共同研究で、私がJAXA側の代表を務めています。

画像：©Dagik

屋外でのデモの様子。このくらいのサイズになると撤収にも時間がかかるため、風雨には細心の注意を払う必要がある

パソコン、プロジェクター、球形スクリーンで手軽に立体展示

ダジック・アースは、正距円筒図法（経度・緯度線が方眼で表現される図法）の地図データを正射図法（球体を無限遠から見た姿）に変換して表示します。マウスなどを用いて見る方向を変えたり、画面上で球体を自転させたり、複数の画像をスライドショーとして連続的に表示したり、経度・緯度線を重ね合わせることも可能です。これだけでも十分有意義ですが、これを球形（半球）のスクリーンにプロジェクターで投影すれば、球体を立体的に表示できます。

ソフトウェアとサンプルコンテンツはインターネット経由で無料でダウンロードできますので、あとはハードウェアとしてパソコンと液晶プロジェクターと球形スクリーンがあれば始められます。とりあえずお手持ちのパソコンにソフトウェアとサンプルコンテンツをダウンロードするだけでも、どんな感じのソフトなのか体験できます。

教室などでの使用にあたっては、液晶プロジェクターは遠方に置くのがよく（短焦点型は球体に投影した時に影が大きめに出ます）、輝度の高いものがお勧めです。球形スクリーンとしては、表面が白く丸いものならば半球でも球形でもかまいません。入手しやすいものとしては白いバランスボールがあります。発泡スチロールの半球を通信販売などで購入して表面を加工するのもよいでしょう。直径が60cm程度あればそこそこ見栄えがします。学校には運動会用に白の大玉もあるかもしれません。いつか宇宙科学研究所にある風洞用のタンクに投影もしてみたいと思っています。機材の貸し出しも行っていますので、興味がある方は info@dagik.org までお問い合わせください。

地球科学や天文など今後も増える魅力的なコンテンツ

肝心のコンテンツに関しては、地球科学関係のものはかなり整備されており、さまざまな時間スケールでの雲の動きや、地表や海面水温の変化、オゾン、オーロラ、地球磁場と磁気異常、震源、大陸移動などがウェブサイトからダウンロードできます。

天文関係についても月や惑星の画像や月の満ち欠けの原理などのコンテンツがありますが、これをさらに拡充するのが今回の私たちの仕事の1つです。月周回衛星「かぐや」が計測した月面の地形や地殻の厚さ、重力異常などの分布に加え、さまざまな波長での全天観測データをコンテンツに含めようと考えています。太陽観測衛星「ひので」や「ようこう」のX線撮像データなど、太陽全面を捉えた観測データについては、変換せずにそのまま球体に投影すればよさそうです。

さらに、JAXAの地球観測衛星についても、すでにある陸域観測技術衛星「だいち」による全球森林・非森林分類図に加えて、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による二酸化炭素やメタンの全球カラム平均濃度分布、第一期水循環変動観測衛星「しずく」による可降水量や海面水温の分布なども地球科学コンテンツに追加できそうです。

その他にも、学校教育の地学分野で使えそうなテーマとして、プレート、火山、造山帯、海溝、海流、気流、気団などについても整備していきたいと考えています。

ところでこのダジック・アースは、世界地理や世界史をはじめ、グローバル化する現代社会を適切に理解するためにも有用なツールだと私は考えています。

例えば世界地理。緯度以外の地形、海流、気団などの気候因子や、実際の気温、降水量などの分布と気候区分はもちろんのこと、主要農産物と農業形態、各種資源の産出状況、食料・資源の貿易と水上・航空交通、人種・言語・宗教と紛争地域、軍備・核配備の状況、あるいは人口密度、飢餓状況、識字率など、関連付けて理解することができそうです。

世界史にしても、古代文明とシルクロード、大航海時代、帝国主義支配、第一次・第二次世界大戦と冷戦構造などは、全球的に理解した方が分かりやすいでしょう。そしてグローバル化が進んだ現代のさまざまな事象についても、球形の将棋盤を用いて考える方が分かりやすそうです。

オリジナルコンテンツを利用者が簡単に開発できるのもこのシステムの重要な特徴です。というのも、用意すべき画像は、正距円筒図法で描かれた地図（画素数としては2048×1024や1024×512などを推奨）と、地図の解説やクレジットに関する画像（必要に応じて）だけ。ベース用の白地図も用意されていますから、オリジナルのコンテンツを手作業で作ることもできます。このように、時間に追われる教育現場の先生方を含め、多くの方に気軽に使いこなしていただけるシステムを目指していますのでご期待ください。

最後に、余談になりますが、今回の共同研究ではうれしいこともありました。静岡大学側の共同参画者は熊野善介教授。私が中学3年生の時に母校に講師に来られ、私を天文の道に導いた恩師なのです。人の縁って面白いですね。

画像：©Dagik

左：大陸移動に関するコンテンツをダジック・アースで表示した例
下：教育現場での実践風景

阪本成一
SAKAMOTO Seiichi
宇宙科学研究所教授／宇宙科学広報・普及主幹。専門は電波天文学、星間物理学。宇宙科学を中心とした広報普及活動をはじめ、ロケット射場周辺漁民との対話や国際協力など「たいがいのこと」に挑戦中。画像は幹事を務めた母校の同期会で、恩師の熊野先生（右上）とともに

JAXA最前線

INFORMATION 1

スペースドーム入場者100万人突破

2014年1月10日に、筑波宇宙センターの展示館「スペースドーム」の入場者が100万人を突破しました。スペースドームは10年7月のオープンから約3年半の間に、夏休みや冬休み、筑波観光ツアーなどを通じて多くの皆さまにご来場いただきました。100万人目は東京都からお越しのご夫婦で、「JAXA構内を見学して宇宙をとても身近に感じることができました」と感想をいただきました。

▶筑波宇宙センターや「スペースドーム」の情報はこちら
http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/

100万人目のご夫婦（中央・右）と、筑波宇宙センター長（左）

INFORMATION 2

この夏、「宇宙博2014」開催

2014年7月19日～9月23日まで、東京の幕張メッセで「宇宙博2014 NASA・JAXAの挑戦」が開催されます。NASAとJAXAの全面協力のもと、マーキュリー計画からアポロ計画を経て、スペースシャトル、国際宇宙ステーションまで、有人宇宙開発の歴史を紹介するほか、小惑星探査機「はやぶさ」、「きぼう」日本実験棟、「イプシロンロケット」など、目覚ましい成果を挙げる日本の宇宙開発についても展示します。さらに、現在火星で調査を行っている火星探査車「キュリオシティ」も登場予定。人類初の宇宙飛行から約半世紀。私たちが遂げてきた飛躍の歴史と現在、そして未来をその目でお確かめください。

INFORMATION 3

「宙（そら）トーク」～スペースドームで本音で語る宇宙開発物語～開催

筑波宇宙センターで、大人を対象にした3夜限定の「宙（そら）トーク」を2014年1月10日、17日、24日に開催しました。第一線で活躍する3人のJAXA職員が自身の経験や宇宙開発の最前線を紹介し、大型試験設備の特別見学ツアーも行いました。17日は、宇宙空間で人工衛星を使って太陽光エネルギーをマイクロ波やレーザーに変換して地上に送り、そのエネルギーを電力などにして利用する「宇宙太陽光発電システム（SSPS）」に焦点を当てた講演が行われました。SSPSはクリーンで安定的にエネルギーを供給できるシステムとして注目されており、JAXAの研究状況や実現に向けた課題の説明に、参加者からは「難しい話かと思ったがとても身近に感じられた。こういう機会を増やせば世の中にその重要性がさらに広まり、実現が早まる可能性もあるのでは」といった意見をいただきました。また講演の模様はインターネットでライブ中継され、多くの反響が寄せられました。

「宇宙太陽光発電システム」の講演の様子

INFORMATION 4

若田光一宇宙飛行士との交信イベント始まる

2014年1月14日、全国8カ所の会場に集まった日本宇宙少年団の子供たちと、国際宇宙ステーションの若田宇宙飛行士をつないで交信イベントが開催されました。「どうして女性宇宙飛行士が少ないの？」という女の子からの質問に若田宇宙飛行士は、「能力とガッツがあれば女性も男性も同じように仕事ができる」と激励しました。また21日には筑波宇宙センターで、健康づくりへの運動継続の重要性をテーマにした交信イベント「宇宙と運動」が開催されました。会場には、体力向上・健康長寿に向けた運動啓発を行う7団体と、宇宙飛行士の健康管理を題材に世界共通のプログラムを実施する「Mission X」プログラムに参加した子供たち100名近くが参加しました。その後も若田宇宙飛行士は、福岡や愛知など各地で交信イベントを精力的に行っています。

▶「Mission X」の紹介はこちら
http://iss.jaxa.jp/med/missionx/

筑波宇宙センターで開かれた交信イベント

開発中の放射線検出器を搭載した無人航空機

INFORMATION 5

小型無人航空機を利用した放射線モニタリングシステムの試験飛行

2014年1月24日、JAXAと日本原子力研究開発機構（JAEA）は、福島県浪江町の避難指示解除準備地区で放射線検出器を小型無人航空機に搭載し、遠隔操作が可能でかつ長時間のフライトを可能とする世界初の実用化に向けた「放射線モニタリングシステム」の飛行試験を行いました。この研究は平成24年度から3年計画で進められており、JAXAは無人機技術、JAEAはモニタリング技術を分担し北海道大樹町での飛行も実証済みです。無人飛行機のメリットは、有人ヘリコプターよりも低空飛行が可能で、無人ヘリよりも長時間の飛行ができます。このため、これまでよりも精密で広範囲のモニタリングが可能になり離れた場所からの遠隔操作ができるため、森林が多い福島県において、特にその効果が期待されます。被災後、初めて福島上空30分ほど滞空し、データ取得を行いました。今後は今回の試験結果を踏まえ、機体の安全性・信頼性の向上及び地形追従機能の付加、並びに検出器の高精度化などを行った機能向上機の開発を行う予定です。

INFORMATION 6

JAXA産業連携シンポジウム開催

2014年1月27日、「あなたのアイデアで衛星データをビジネスに」をテーマに、衛星利用ビジネスが提供するサービスやデータが社会課題に対して何ができるかを考えるシンポジウムが開催され、登壇者から幅広い業種での新しいビジネスアイデアの可能性があることが発表されました。JAXAでは衛星利用分野に限らず通年でビジネスモデルの募集を行っておりますので、ぜひご活用ください。

▶「JAXAオープンラボ」公募情報はこちら
http://aerospacebiz.jaxa.jp/jp/offer/skill_theme.html

INFORMATION 7

油井亀美也宇宙飛行士 GCTCサバイバル訓練実施

油井飛行士は2014年1月27～29日に、ロシア郊外で冬季サバイバル訓練を行いました。この訓練は、何らかの理由によりソユーズ宇宙船が雪原などに不時着した場合を想定し、救助部隊が来るまでの間生存するためのサバイバル技術を身に着けることを目的として行われます。また、同乗する他の宇宙飛行士とともに集団で数日間にわたって生活することで、ミッションを遂行するために必要なチームワークの向上なども図ります。ソユーズ宇宙船に搭載されているサバイバルキットの使用方法、シェルターの設営方法、火の起こしかたなどの実習を行った後、野外での2泊3日のサバイバル訓練に臨みました。「JAXA's+（ジャクサスプラス）」では、訓練の様子や15年の国際宇宙ステーション長期滞在に向けた油井宇宙飛行士の意気込みを紹介していますのでぜひご覧ください。
→http://fanfun.jaxa.jp/media/jaxas/

－25℃の屋外でのサバイバル訓練

▶油井宇宙飛行士のtwitterはこちら
https://mobile.twitter.com/Astro_Kimiya

INFORMATION 8

「しずく」観測データがアメリカ海洋大気庁で利用開始

米国海洋大気庁（NOAA）は、JAXAが2012年5月に打ち上げた第一期水循環変動観測衛星「しずく」に搭載されたマイクロ波放射計2（AMSR2）の観測データを、14年6月1日から熱帯性低気圧の発生や発達の監視のために利用することになりました。可視光や赤外観測による雲画像で台風の内部構造を把握できない場合でも、AMSR2のマイクロ波観測は雲を通して明瞭に捉えることが可能です。13年11月にフィリピンに甚大な被害をもたらした台風30号の際には、AMSR2が観測したデータは、NOAAのハリケーンセンターによって、台風の位置や降雨量の特定、構造の解析のために活用されました。その結果などから、AMSR2の観測で得られたデータは勢力が強い台風の観測に適しており、予報の精度向上につながることが認められました。

第一期水循環変動観測衛星「しずく」（CG）

発行責任者●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
広報部長　寺田弘慈
編集制作●一般財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー

2014年3月24日発行

雨雲を、味方にせよ。GPM主衛星打ち上げ成功!

2月28日3時37分、種子島宇宙センターからGPM主衛星が打ち上げられました。全球降水観測(GPM)計画は、JAXAとNASAが中心となり、世界中に降る雨を宇宙から見極めるミッションで、GPM主衛星にはJAXAが開発した最先端の二周波降水レーダ(DPR)が搭載されています。DPRは、従来の衛星では観測できなかった霧雨から豪雨までを観測するとともに、まるで雨雲をスキャンするように、雲の中にある雨滴や雪・氷粒子の大きさなどの詳細情報を得ることができます。今後、GPM主衛星と複数の副衛星群により3時間以内で地球全体の降雨観測を目指し、災害予測や軽減によって私たちの暮らしを守ることに貢献していきます。『JAXA's』50号、54号でミッションについて詳しくご紹介していますのであわせてご覧ください。

種子島宇宙センターの衛星組立棟で公開されたGPM主衛星。重さ約4トン、高さ6.5m、太陽電池パネルを広げると幅約13mにも及ぶ

雷雨を晴天に変えたのは、ケネディ米大使かはたまた「雨雲を、味方にした」GPM/DPRか

準天頂衛星初号機「みちびき」を搭載したH-IIAロケット以来、私にとって現場での打ち上げ対応は4年ぶりでした。前回は「発射管制棟」の中だったので映像はスクリーン越し。打ち上げ前に雨に見舞われましたが、その後きれいに晴れて、自分の目で“満天の星空の中にいつまでも残る美しいロケットエンジンの炎を見る”という長年の夢がかないました。(広報部長 寺田弘慈)

視察に訪れたケネディ米大使(左)と奥村理事長(右)

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://www.jaxa.jp/pr/mail/
JAXA's配送サービス　http://www.jaxas.jp/